

BEST AVAILABLE COPY

PCT/JP 2004/008217

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

17. 6. 2004

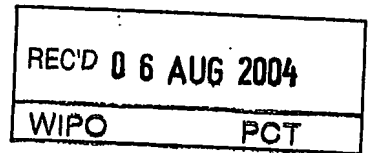
別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application: 2003年 6月13日

出 願 番 号
Application Number: 特願2003-170106
[ST. 10/C]: [JP2003-170106]

出 願 人
Applicant(s): 株式会社豊田自動織機
新潟精密株式会社
大見 忠弘

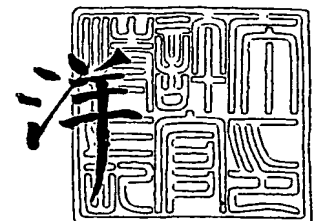


PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2004年 7月22日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小 川



出証番号 出証特2004-3063824

【書類名】 特許願

【整理番号】 2003TJ047

【提出日】 平成15年 6月13日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H03F 1/26
H03F 3/187

【発明者】

【住所又は居所】 愛知県刈谷市豊田町 2 丁目 1 番地 株式会社豊田自動織機内

【氏名】 西牟田 武史

【発明者】

【住所又は居所】 新潟県上越市西城町 2 丁目 5 番 1 3 号新潟精密株式会社内

【氏名】 宮城 弘

【発明者】

【住所又は居所】 宮城県仙台市青葉区米ヶ袋 2 - 1 - 1 7 - 3 0 1

【氏名】 大見 忠弘

【発明者】

【住所又は居所】 宮城県仙台市青葉区川内元支倉 3 5 - 2 - 1 0 2

【氏名】 須川 成利

【発明者】

【住所又は居所】 宮城県仙台市宮城野区平成 1 - 1 - 2 2 - K 6

【氏名】 寺本 章伸

【特許出願人】

【識別番号】 000003218

【氏名又は名称】 株式会社豊田自動織機

【特許出願人】

【識別番号】 591220850

【氏名又は名称】 新潟精密株式会社

【特許出願人】

【識別番号】 000205041

【氏名又は名称】 大見 忠弘

【代理人】

【識別番号】 100074099

【弁理士】

【氏名又は名称】 大菅 義之

【電話番号】 03-3238-0031

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 012542

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9005945

【包括委任状番号】 0118621

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 低雑音増幅器

【特許請求の範囲】

【請求項1】 M I Sトランジスタを有し、雑音を低レベルに抑えて入力信号を増幅する低雑音増幅器であって、

前記M I Sトランジスタは、

第1の結晶面を主面として有する半導体基板と、

該半導体基板の一部として形成され、前記第1の結晶面とは異なった第2の結晶面により画成された1対の側壁面と、前記第2の結晶面とは異なった第3の結晶面により画成された頂面とよりなる、半導体構造と、

前記主面及び前記側壁面及び前記頂面を一樣な厚さで覆うゲート絶縁膜と、

前記主面及び前記側壁面及び前記頂面を、前記ゲート絶縁膜を介して連続的に覆うゲート電極と、

前記半導体基板中及び前記半導体構造中の、前記ゲート電極を介する一方側及び他方側に形成され、いずれも前記主面及び前記側壁面及び前記頂面に沿って連続的に延在する、同一導電型拡散領域と、

よりなるM I Sトランジスタである、

ことを特徴とする低雑音増幅器。

【請求項2】 M I Sトランジスタを有し、雑音を低レベルに抑えて入力信号を増幅する低雑音増幅器であって、

前記M I Sトランジスタは、

表面が少なくとも二つの異なる結晶面を有する凸部を主面に対して構成する半導体基板と、

前記凸部の表面を構成する前記少なくとも二つの異なる結晶面の各々の少なくとも一部を覆うゲート絶縁膜と、

前記半導体基板と電氣的に絶縁されるように前記ゲート絶縁膜を介して構成され、かつ前記凸部の表面を構成する前記少なくとも二つの異なる結晶面の各々に対して構成されるゲート電極と、

前記凸部の表面を構成する前記少なくとも二つの異なる結晶面の各々に面して

前記凸部中に形成され、かつ前記ゲート電極の両側にそれぞれ形成される同一導電型拡散領域と、

よりなるMISトランジスタである、

ことを特徴とする低雑音増幅器。

【請求項3】 MISトランジスタを有し、雑音を低レベルに抑えて入力信号を増幅する低雑音増幅器であって、

前記MISトランジスタは、

少なくとも二つの結晶面を有する半導体基板と、

該半導体基板上であって前記結晶面の少なくとも二つに対して形成したゲート絶縁膜と、

該ゲート絶縁膜を挟んで前記半導体基板上に形成したゲート電極と、

を有し、

該ゲート電極に電圧を加えた際に前記ゲート絶縁膜に沿って前記半導体基板中に形成されるチャネルのチャネル幅が、前記少なくとも二つの結晶面に対して各々形成されるチャネルの各チャネル幅の総和で示される、

立体構造MISトランジスタである、

ことを特徴とする低雑音増幅器。

【請求項4】 前記MISトランジスタは、

前記半導体基板がシリコン基板であり、

前記シリコン基板の表面に形成されたゲート絶縁膜が、前記シリコン基板の表面を所定の不活性ガスによるプラズマに曝して水素を除去することにより形成され、前記シリコン基板と前記ゲート絶縁膜との界面における前記水素の含有量が面密度換算で $10^{11}/\text{cm}^2$ 以下となる、ことを特徴とする請求項1乃至3の何れか一つに記載の低雑音増幅器。

【請求項5】 前記少なくとも二つの結晶面は、(100)面、(110)面、(111)面の内の何れか異なる二つの結晶面が組み合わされてなる、

ことを特徴とする請求項1乃至4の何れか一つに記載の低雑音増幅器。

【請求項6】 nチャネルMOSトランジスタ及びpチャネルMOSトランジスタからなるCMOSトランジスタを有し、

前記 n チャンネル MOS トランジスタまたは前記 p チャンネル MOS トランジスタの少なくとも一方が請求項 1 乃至 5 の何れか一つに記載の低雑音増幅器の M I S トランジスタによって構成される、

ことを特徴とする低雑音増幅器。

【請求項 7】 前記 p チャンネル MOS トランジスタと前記 n チャンネル MOS トランジスタの素子面積及び電流駆動能力は略一致する、ことを特徴とする請求項 6 に記載の低雑音増幅器。

【請求項 8】 前記 p チャンネル MOS トランジスタのゲートと前記 n チャンネル MOS トランジスタのゲートに対し、前記入力信号に基づく入力電圧が共通に加わり、

前記 p チャンネル MOS トランジスタのドレイン側に電圧源が設けられ、

前記 p チャンネル MOS トランジスタのソースと前記 n チャンネル MOS トランジスタのドレインとが共通接続され、

前記 n チャンネル MOS トランジスタのソースとドレインとの間に動作点決定用の直流フィードバック回路が接続され、

前記 p チャンネル MOS トランジスタのソースと前記 n チャンネル MOS トランジスタのドレインとの前記共通接続された接続ラインに現れる電圧が前記入力電圧の増幅電圧として出力される、

ことを特徴とする請求項 6 または 7 に記載の低雑音増幅器。

【請求項 9】 ダイレクトコンバージョン受信方式で使用されることを特徴とする請求項 1 乃至 8 の内の何れか一つに記載の低雑音増幅器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、M I S (Metal-Insulator-Semiconductor) 集積回路上に構成される低雑音増幅器に関する。

【0002】

【従来の技術】

高周波 (R F) 信号から所望波を取り出す技術としてスーパーヘテロダイン方

式やダイレクトコンバージョン受信方式などが良く知られている。

これら受信方式のダイレクトコンバージョン受信方式を例に、典型的な信号の復調方式を以下に図面を用いて説明する。

【0003】

図11は、一般的な上記ダイレクトコンバージョン受信方式を示す回路ブロック図である。

同図の回路ブロック図1100は、アンテナ1102、低雑音増幅器1104、局部発振器1106、90度移相器1108、ミキサ1110、ローパスフィルタ(LPF)1112、DCアンプ1114、A/D変換器1116、及びDSP1118から構成されている。

【0004】

同図のアンテナ1102から高周波(RF)信号を受信すると、そのRF信号を低周波雑音増幅器1104で増幅させ、その増幅したRF信号を同図の上下に配置されたミキサ1110に入力する。

また、局部発振器1106からは上記RF信号と同じ周波数のローカル(LO)信号が出力され、90度移相器1108で互いに90度の位相を持たせて各ミキサ1110にそのLO信号を入力する。

【0005】

ミキサ1110では、上記入力されたRF信号とLO信号とを乗算し、低周波雑音増幅器1104の出力を同相(I)成分及び直交(Q)成分を有するベースバンド信号へそれぞれ変換している。この方式によるとIFがゼロとなりベースバンド信号が折り重なって復調できなくなるため、前述したように位相の90度異なる二つのLO信号と二組のミキサ1110を用いて直交復調を行なう。

【0006】

ミキサ1110から出力された信号は、その後段で、LPF1112によって不要波がカットされ、LPF1112から出力された所望波がDCアンプ1114で増幅され、DCアンプ1114から出力された信号がA/D変換器1116でデジタル信号に変換される。

【0007】

そして、A/D変換器1116によって変換されたデジタル信号がDSP1118に入力されることにより、符号再生等の処理が行なわれる。

一方、受信方式がスーパーヘテロダイン受信方式であれば、アンテナで受信した搬送波周波数信号を中間周波数（IF）信号へ変換するため、イメージ周波数が残ってしまう。そのため、スーパーヘテロダイン受信方式の場合には低周波雑音増幅器の前段に上記イメージ周波数を取り除くためのバンドパスフィルタが構成され、さらに、中間周波数を取り出すために帯域制限を行なう中間周波数フィルタなどがIF回路に構成される。

【0008】

上述した回路ブロック図の説明からも明らかなように、上記低周波雑音増幅器は、先ず始めに利得を有する回路ブロックとなる。

低周波雑音増幅器の雑音指数はシステムの雑音指数にそのまま加算されてしまうため、低周波雑音増幅器を設計する際は如何に雑音を低減させて入力信号を増幅させるかが重要となる。

【0009】

昨今では、従来問題となっていたMOS（Metal-Oxide-Semiconductor）トランジスタの低スピードの問題とノイズが大きいという問題が改善されつつあり、上述した低周波雑音増幅器に対してMOSトランジスタを適用することで低周波雑音増幅器を半導体基板上に集積化できるようになった。

【0010】

そして、半導体基板上に一導電型（pチャネルまたはnチャネル）のMISトランジスタを単体で構成した半導体装置の構成例としては、そのゲート絶縁膜を一例として熱酸化処理を施して半導体基板の凸部に構成したものが特開2002-110963号公報に開示されている。この構成であれば、半導体基板の上記凸部の側壁面に対してチャネルを形成できるとされている。

【0011】

【特許文献1】

特開2002-110963号公報

【0012】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、上記MOSトランジスタを利用して低雑音増幅器を構成すると、チャネルで発生する雑音が顕著に現れ、それが低雑音増幅器の雑音指数を高める直接的な原因となっていることが明らかになる。その雑音とは、半導体基板とゲート絶縁膜との界面及び界面付近に生成されるチャネルにおいて、電子正孔対の生成、再結合やトラップでのキャリアの捕獲、或いはトラップからのキャリアの放出などによって生じるフリッカ雑音（ $1/f$ 雑音）である。そして、この $1/f$ 雑音を低減させる事は困難であった。

【0013】

また、トランジスタ特性における飽和領域においては、ドレインソース間電圧に寄らずドレイン電流が一定の値を示すことが理想的であるが、実際には、この飽和領域におけるピンチオフ点（チャネルキャリア密度が略0になる点）の移動により、実行ゲート長は減少し、反対にドレイン電流が上昇するというチャネル長変調現象が生じる。このため、増幅された信号として歪のない安定した信号を得ることが困難であった。

【0014】

このように、低雑音増幅器の回路設計をする際には、いかに雑音を低く抑えて利得を増やせるようにするかが課題で、これまでは、出力信号に影響する雑音や歪を別回路で補償するなどの構成をとる必要があった。

さらに、CMOS構造にした低雑音増幅器においては、pチャネルMOSトランジスタ及びnチャネルMOSトランジスタの互いの寄生容量が一致せず、ゲートソース間電圧に対する互いのドレイン電流の立上がり特性と立下り特性のずれによる信号歪を生じており問題であった。

【0015】

そこで本発明は、少ない部品数で雑音を抑えかつ高利得で信号増幅させることが可能な低雑音増幅器を提供することを目的とし、さらに、雑音を低化させると共に信号歪を低化させることが可能なCMOS構造の低雑音増幅器を提供することを目的とする。

【0016】

【課題を解決するための手段】

本発明は上記課題を解決するために以下のように構成する。

本発明の低雑音増幅器の態様の一つは、MIS (Metal-Insulator-Semiconductor) トランジスタを有し、雑音を低レベルに抑えて入力信号（例えば搬送信号など）を増幅することを前提とし、上記MIS トランジスタは、第1の結晶面を主面として有する半導体基板と、該半導体基板の一部として形成され、上記第1の結晶面とは異なった第2の結晶面により画成された1対の側壁面と、上記第2の結晶面とは異なった第3の結晶面により画成された頂面とよりなる、半導体構造と、上記主面及び上記側壁面及び上記頂面を一樣な厚さで覆うゲート絶縁膜と、上記主面及び上記側壁面及び上記頂面を、上記ゲート絶縁膜を介して連続的に覆うゲート電極と、上記半導体基板中及び上記半導体構造中の、上記ゲート電極を介する一方側及び他方側に形成され、いずれも上記主面及び上記側壁面及び上記頂面に沿って連続的に延在する、同一導電型拡散領域（導電型には、例えばn型やp型があり、同一導電型拡散領域とは、上記ゲート電極の両側に形成される拡散領域の導電型が同一である領域を意味する）と、を有するように構成する。

【0017】

本発明の低雑音増幅器の態様のその他の一つは、MIS トランジスタを有し、雑音を低レベルに抑えて入力信号を増幅することを前提とし、上記MIS トランジスタは、表面が少なくとも二つの異なる結晶面を有する凸部を主面に対して構成する半導体基板と、上記凸部の表面を構成する上記少なくとも二つの異なる結晶面の各々の少なくとも一部を覆うゲート絶縁膜と、上記半導体基板と電氣的に絶縁されるように上記ゲート絶縁膜を介して構成され、かつ上記凸部の表面を構成する上記少なくとも二つの異なる結晶面の各々に対して構成されるゲート電極と、上記凸部の表面を構成する上記少なくとも二つの異なる結晶面の各々に面して上記凸部中に形成され、かつ上記ゲート電極の両側にそれぞれ形成される同一導電型拡散領域と、を有するように構成する。

【0018】

本発明の低雑音増幅器の態様のその他の一つは、MIS トランジスタを有し、

雑音を低レベルに抑えて入力信号を増幅することを前提とし、上記MISトランジスタは、少なくとも二つの結晶面を有する半導体基板と、該半導体基板上であって上記結晶面の少なくとも二つに対して形成したゲート絶縁膜と、該ゲート絶縁膜を挟んで上記半導体基板上に形成したゲート電極と、を有し、該ゲート電極に電圧を加えた際に上記ゲート絶縁膜に沿って上記半導体基板中に形成されるチャネルのチャネル幅が、上記少なくとも二つの結晶面に対して各々形成されるチャネルの各チャネル幅の総和で示される、立体構造MISトランジスタである、ように構成する。

【0019】

なお、本発明の低雑音増幅器の上記各態様において、上記MISトランジスタは、上記半導体基板がシリコン基板であり、上記シリコン基板の表面に形成されたゲート絶縁膜が、上記シリコン基板の表面を所定の不活性ガスによるプラズマに曝して水素を除去することにより形成され、上記シリコン基板と上記ゲート絶縁膜との界面における上記水素の含有量が面密度換算で $10^{11}/\text{cm}^2$ 以下となる、ように構成することが望ましい。

【0020】

また、上記少なくとも二つの結晶面は、(100)面、(110)面、(111)面の内の何れか異なる二つの結晶面が組み合わせられてなる、ように構成することが望ましい。

さらに、nチャネルMOSトランジスタ及びpチャネルMOSトランジスタからなるCMOSトランジスタを有し、前記nチャネルMOSトランジスタまたは前記pチャネルMOSトランジスタの少なくとも一方が上記各態様の何れか一つに記載の低雑音増幅器のMISトランジスタによって構成される、ことが望ましい。

【0021】

この時、上記pチャネルMOSトランジスタと上記nチャネルMOSトランジスタの素子面積及び電流駆動能力は略一致する、ように構成することが望ましい。

このように構成される低雑音増幅器においては、上記pチャネルMOSトラン

ジスタのゲートと上記 n チャンネル MOS トランジスタのゲートに対し、上記入力信号に基づく入力電圧が共通に加わり、上記 p チャンネル MOS トランジスタのドレイン側に電圧源が設けられ、上記 p チャンネル MOS トランジスタのソースと上記 n チャンネル MOS トランジスタのドレインとが共通接続され、上記 n チャンネル MOS トランジスタのソースとドレインとの間に動作点決定用の直流フィードバック回路が接続され、上記 p チャンネル MOS トランジスタのソースと上記 n チャンネル MOS トランジスタのドレインとの上記共通接続された接続ラインに現れる電圧が上記入力電圧の増幅電圧として出力される、ように構成してもよい。

【0022】

さらに、上記各態様の低雑音増幅器は、ダイレクトコンバージョン受信方式使用してもよい。

本発明の低雑音増幅器においては、上記少なくとも二つの異なる結晶面に沿ってゲート幅が形成される。そのため、ゲートに電圧が印加されると、上記少なくとも二つの異なる結晶面に沿ってチャンネルが形成される。そして、特に凸部の結晶面に沿ってチャンネルが形成された際に、各トランジスタで生じるゲート長変調効果が大幅に抑制される。

【0023】

また、上記 MIS トランジスタにおいて、上記半導体基板がシリコン基板であり、上記シリコン基板の表面に形成されたゲート絶縁膜が、上記シリコン基板の表面を所定の不活性ガスによるプラズマに曝して水素を除去することにより形成され、上記シリコン基板の表面及び上記ゲート絶縁膜の界面における上記水素の含有量が面密度換算で $10^{11}/\text{cm}^2$ 以下となる、ように形成できるので、半導体基板とゲート絶縁膜との界面における界面準位密度を低下でき、 $1/f$ 雑音の低減及び各トランジスタの電気的特性のばらつきが低減できる。

【0024】

さらに、上記少なくとも二つの結晶面が、(100) 面、(110) 面、(111) 面の内の何れか異なる二つの結晶面が組み合わせられることによって、上記 $1/f$ を大幅に低減でき、電気的特性のばらつきも大幅に低減できる。

また、ダイレクトコンバージョン方式に上記局部発振器を適用すれば、局部発

振器から発生する $1/f$ 雑音や信号歪などの影響を後段の回路に与えない。

【0025】

さらに、nチャネルMOSトランジスタ及びpチャネルMOSトランジスタの電流駆動能力及び素子面積を一致させたCMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) トランジスタを有するミキサ回路を構成できるようになる。

【0026】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態を、図面を参照しながら詳細に説明する。

本発明の実施の形態の低雑音増幅器はMIS (Metal-Insulator-Semiconductor) 構造を有するトランジスタによって構成される。そして、本発明の実施の形態において、このMISトランジスタのゲート絶縁膜は、特開2002-261091号公報に開示されているゲート絶縁膜薄膜形成技術を取り入れて形成する。

【0027】

なお、上記ゲート絶縁膜としては、上記特開2002-261091号公報に開示されているように窒化膜や酸窒化膜とすることもできるが、本実施の形態においては上記ゲート絶縁膜を酸化膜としたMOS (Metal-Oxide-Semiconductor) トランジスタ (例えばMOSFETなど) を代表に挙げて説明することにする。

【0028】

先ず始めに、上記MOSトランジスタのゲート絶縁膜薄膜形成方法について説明する。

図1は、ラジアルラインスロットアンテナを用いたプラズマ処理装置100の一例を示す断面図である。

【0029】

本ゲート絶縁膜薄膜形成方法においては、シリコン (またはSiで示す) 表面の未結合手を終端している水素を除去するのに、次の酸化膜形成工程でプラズマ励起ガスとして使われるKrを使用し、同一処理室内で連続して表面終端水素除去処理と酸化処理とを行なう。

【0030】

先ず、真空容器（処理室）101内を真空にし、次にシャワープレート102から最初にArガスを導入し、それをKrガスに切替える。さらに、前記処理室101内の圧力を133Pa（1Torr）程度に設定する。

次にシリコン基板103を、加熱機構を持つ試料台104に置き、試料の温度を400℃程度に設定する。前記シリコン基板103の温度が200-550℃の範囲内であれば、以下に述べる結果はほとんど同様のものとなる。前記シリコン基板103は、直前の前処理工程において希フッ酸洗浄が施され、その結果表面のシリコン未結合手が水素で終端されている。

【0031】

次に同軸導波管105からラジアルラインスロットアンテナ106に周波数が2.45GHzのマイクロ波を供給し、前記マイクロ波を前記ラジアルラインスロットアンテナ106から処理室101の壁面の一部に設けられた誘電体板107を通して、前記処理室101内に導入する。導入されたマイクロ波は前記シャワープレート102から前記処理室101内に導入されたKrガスを励起し、その結果前記シャワープレート102の直下に高密度のKrプラズマが形成される。供給するマイクロ波の周波数が900MHz程度以上約10GHz程度以下の範囲にあれば、以下に述べる結果はほとんど同様のものとなる。

【0032】

図1の構成においてシャワープレート102と基板103の間隔は、本実施形態では6cmに設定する。この間隔は狭いほうがより高速な成膜が可能となる。

なお、本実施形態では、ラジアルラインスロットアンテナを用いたプラズマ装置を用いて成膜した例を示しているが、他の方法を用いてマイクロ波を処理室内に導入してプラズマを励起してもよい。

【0033】

前記シリコン基板103をKrガスで励起されたプラズマに曝すことにより、前記シリコン基板103の表面は低エネルギーのKrイオン照射を受け、その表面終端水素が除去される。

図2は前記シリコン基板103表面におけるシリコン-水素結合を赤外分光器

により分析した結果であり、前記処理室 101 中にマイクロ波を 133 Pa (1 Torr) の圧力下、 1.2 W/cm^2 のパワーで導入することで励起した Kr プラズマによる、シリコン表面終端水素の除去効果を示す。

【0034】

図 2 を参照するに、わずか 1 秒程度の Kr プラズマ照射でシリコン-水素結合に特徴的な波数 2100 cm^{-1} 付近の光吸収がほとんど消滅し、約 30 秒の照射ではほぼ完全に消滅するのがわかる。すなわち、約 30 秒の Kr プラズマ照射により、シリコン表面を終端していた水素が除去できることがわかる。本実施形態では、1 分間の Kr プラズマ照射を施して、表面終端水素を完全に除去する。

【0035】

次に、前記シャワープレート 102 から 97/3 の分圧比の Kr/O₂ 混合ガスを導入する。この際、処理室内の圧力は 133 Pa (1 Torr) 程度に維持しておく。Kr ガスと O₂ ガスが混合された高密度励起プラズマ中では、中間励起状態にある Kr* と O₂ 分子が衝突し、原子状酸素 O* を効率よく大量に発生できる。

【0036】

本例では、この原子状酸素 O* により前記シリコン基板 103 の表面を酸化する。本薄膜形成方法を用いることにより、原子状酸素による酸化処理では、400°C 程度の非常に低い温度での酸化が可能となる。Kr* と O₂ の衝突機会を大きくするには、処理室圧力は高い方が望ましいが、あまり高くすると、発生した O* 同志が衝突し、O₂ 分子に戻ってしまう。当然、最適ガス圧力が存在する。

【0037】

図 3 に、処理室内の Kr/O₂ の圧力比を 97/3 に保持しつつ、前記処理室 101 内のガス圧力を変化させた場合の、形成される酸化膜の厚さと処理室内圧力との関係を示す。ただし図 3 では、シリコン基板 103 の温度を 400°C に設定し、10 分間の酸化処理を行っている。

【0038】

図 3 を参照するに、前記処理室 101 内の圧力が約 133 Pa (1 Torr) の時に最も酸化速度は速くなり、この圧力ないしはその近傍の圧力条件が最適で

あることがわかる。この最適圧力は、前記シリコン基板103の面方位が(100)面である場合に限らず、どの面方位のシリコン表面であっても同じである。

【0039】

所望の膜厚のシリコン酸化膜が形成されたところでマイクロ波パワーの導入を止めプラズマ励起を終了し、さらにKr/O₂混合ガスをArガスに置換して酸化工程を終了する。本工程の前後にArガスを使用するのはKrより安価なガスをパージガスに使用するためである。本工程に使用されたKrガスは回収再利用する。

【0040】

以上のKr/O₂プラズマ酸化膜形成に続いて、電極形成工程、保護膜形成工程、水素シント処理工程等を施してMOSトランジスタやキャパシタを含む半導体集積回路装置を完成させることができる。

上記の手順で形成されたシリコン酸化膜中の水素含有量を昇温放出により測定したところ、3nmの膜厚のシリコン酸化膜において面密度換算で $10^{12}/\text{cm}^2$ 程度以下であった。特にリーク電流が少ない酸化膜においてはシリコン酸化膜内の水素含有量は、面密度換算で $10^{11}/\text{cm}^2$ 程度以下であることが確認された。一方、酸化膜形成前にKrプラズマの暴露を行わなかった酸化膜は面密度換算で $10^{12}/\text{cm}^2$ を超える水素を含んでいた。

【0041】

また、上記の手順で形成されたシリコン酸化膜を剥離した後のシリコン表面と酸化膜形成前のシリコン表面の粗さを原子間力顕微鏡で測定して比較したところ、シリコン表面の荒さが変化していないのが確認された。すなわち、終端水素を除去して酸化した後でもシリコン表面が荒れることはない。

【0042】

本ゲート絶縁膜薄膜形成方法によると、シリコン基板と、MOSトランジスタのゲート絶縁膜として形成されるシリコン酸化膜との、界面に残留する水素が除去され、その界面が平坦化される。この平坦化により、その界面における低界面準位密度を実現することができ、ゲート絶縁膜が薄膜化されても良好な電気的特性（低リーク電流特性、低界面準位密度、高耐圧性、高ホットキャリア耐性、均

一なしきい値電圧特性など) が得られるようになっている。また、さらに、如何なる面方位に形成されたゲート絶縁膜もそれらの面方位に対して良好な電気的特性を得る事もできるようになる。

【0043】

次に、上述したゲート絶縁膜薄膜形成方法を利用し、シリコン基板の(100)面のみならず(111)面や(110)面を使用してMOSトランジスタの形成を行なった例を示す。

図4は、図1のプラズマ処理装置100により、シリコン基板の(100)面、(111)面、および(110)面を酸化した場合のKr/O₂プラズマ酸化膜の成長レートを、熱酸化膜の成長レートと比較して示している。

【0044】

図4を参照するに、Kr/O₂プラズマ酸化膜では熱酸化膜の場合よりもはるかに大きな成長レートが得られており、活性な原子状酸素O*を使ったSi基板の酸化が非常に効率良く進むことが示されている。さらに図4より、Kr/O₂プラズマ酸化膜では、Si原子の面密度がより大きな(111)面、(110)面上での成長レートが、(100)面上での成長レートよりも小さくなっている事が分かる。これは原料供給律速プロセスから導かれる帰結と一致しており、このようにして形成したプラズマ酸化膜は、優れた膜質を有している事が示唆される。

【0045】

これに対し、Si基板の(111)面、(110)面上に熱酸化膜を形成した場合には、(100)面上に熱酸化膜を形成した場合よりも酸化膜の成長レートが大きくなっており、(111)面、(110)面上に形成されている熱酸化膜は膜質が劣ることを示唆している。

【0046】

図5はこのようにして形成されたKr/O₂プラズマ酸化膜と熱酸化膜とで界面準位密度を比較した結果を示す。

図5を参照するに、Kr/O₂プラズマ酸化膜ではシリコンの(100)面上に形成された場合でも(111)面、(110)面上に形成された場合でも、界面準位密度は(100)面上に形成された熱酸化膜の界面準位密度よりも低く、非常に

高品質な酸化膜が得られているのがわかる。

【0047】

これに対し、シリコンの(111)面、(110)面上に形成された熱酸化膜では、図4の結果から予測された通り界面準位密度が非常に大きく、MOSトランジスタのゲート絶縁膜に使用した場合には、キャリアの捕獲によるしきい値電圧の変化やゲートリーク電流の増大など、様々な問題が生じると考えられる。

【0048】

図6(A)～(C)は、シリコン基板のそれぞれ(100)面、(111)面、および(110)面上に、図1のプラズマ処理装置100によりシリコン酸化膜を形成し、かかるシリコン酸化膜をゲート絶縁膜としてpチャネルMOSトランジスタを形成した場合のドレイン電圧対規格化ドレイン電流特性を示す。ただし図6(A)、(B)では、シリコン酸化膜を前記Kr/O₂プラズマ処理により形成した場合と熱酸化処理により形成した場合の両方を示している。これに対し、図6(C)では、熱酸化処理では(110)面上に酸化膜が形成できないため、Kr/O₂プラズマ処理により形成したゲート酸化膜の例のみを示している。図6(A)の結果は、ゲート長が10μmでゲート幅が50μmのpチャネルMOSトランジスタについてのものであり、図6(B)、(C)の結果は、ゲート長が10μmでゲート幅が300μmのpチャネルMOSトランジスタについてのものである。

【0049】

図6(A)～(C)を参照するに、pチャネルMOSトランジスタのドレイン電流、従って相互コンダクタンスないし電流駆動能力は、トランジスタをシリコンの(100)面以外の結晶面、例えば(111)面あるいは(110)面上に形成することにより増大させることが可能であること、特にpチャネルMOSトランジスタをシリコンの(111)面上に形成した場合に(100)面上に形成したpチャネルMOSトランジスタの約1.3倍の電流駆動能力が得られること、また(110)面上に形成した場合には約1.8倍の電流駆動能力が得られることがわかる。

【0050】

図7は、NチャネルMOSトランジスタの構成例である。

同図に示されるNチャネルMOSトランジスタは、(110)面を主面とするSi基板710の上に、先に図1で説明したプラズマ処理装置100によってシリコン酸化膜が一様に形成され、その形成されたシリコン酸化膜の上にポリシリコンゲート電極730が形成されている。さらに、かかるゲート電極730のバターニングに伴って前記シリコン酸化膜もバターニングされ、前記ゲート電極730に対応してゲート絶縁膜720が同図の太い実線と破線で囲まれる領域に形成される。

【0051】

そして、前記ゲート電極730を自己整合マスクにn型不純物をイオン注入することにより、前記ゲート電極730の両側にn型拡散領域710aおよび710bが形成される。その結果、前記Si基板710上にnチャネルMOSトランジスタが形成される。なお、同図においては、上記n型拡散領域710aおよび710b間にチャンネルが形成された際のその形成範囲を斜線で示す事とした。

【0052】

なお、同図はnチャネルMOSトランジスタの構成例であるが、ゲート電極を自己整合マスクにp型不純物をイオン注入して、そのゲート電極の両側にp型拡散領域を形成することにより、Si基板上にpチャネルMOSトランジスタを形成することもできる。

【0053】

このように構成したMOSトランジスタにおいては、Si基板の(100)結晶面とゲート酸化膜の界面で低界面準位密度を実現できるので、1/f雑音を低減でき、良好な電気的特性が安定して得られる。

このため、素子間における電気的特性のバラツキを低下させたより安定なMOSトランジスタを構成できる。

【0054】

なお、上記構成例ではSi基板の(110)面に対してトランジスタを形成したが、その他の(100)面や(111)面に形成しても、上述した効果は得られる。

次に、上記(110)面のように一方位の結晶面のみにトランジスタを構成するのではなく、複数の方位を有する結晶面を同時に利用してトランジスタを構成(立体構成)する例を示す。

【0055】

図8、9は、pチャネルMOSトランジスタ及びnチャネルMOSトランジスタからなるCMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) トランジスタの構成例である。

ただし図9は、図8の一部を取り出して示した図である。

【0056】

図8、9を参照するに、CMOSトランジスタ800は素子分離領域805により隔てられたn型領域Aとp型領域Bとが形成された(100)面を主面とするSi基板810上に形成されており、図9に示すように、前記領域Aには幅が W_{1A} で高さが H_A の突出部810Aが、また領域Bには幅が W_{1B} で高さが H_B の突出部810Bが両側壁面に形成されている。図9よりわかるように、前記突出部810A、810Bの頂面は(100)面により、側壁面は(110)面により画成されている。

【0057】

図9のSi基板810上には、先に図1で説明したプラズマ処理装置100によりシリコン酸化膜が一様に形成されており、さらにその上に、図8に示すポリシリコンゲート電極830Aおよび830Bが、それぞれ領域AおよびB上に形成されている。さらにかかるゲート電極830Aおよび830Bのパターニングに伴って前記シリコン酸化膜もパターニングされ、前記ゲート電極830Aに対応してゲート絶縁膜820Aが、またゲート電極830Bに対応してゲート絶縁膜820Bが、同図に太い実線と斜線で囲まれる領域に形成される。

【0058】

さらに図8のCMOSトランジスタ800では、前記n型領域Aにおいて前記ゲート電極830Aを自己整合マスクにn型不純物をイオン注入することにより、前記ゲート電極830Aの両側に、前記突出部810Aをも含んでn型拡散領域810aおよび810bが形成される。同様に、前記p型領域Bにおいても前記ゲ

ート電極 830B の両側に、前記突出部 810B をも含んで p 型拡散領域 810c および 810d が形成される。その結果、前記 Si 基板 810 上には前記領域 A に n チャネル MOS トランジスタ 840A が、また前記領域 B に p チャネル MOS トランジスタ 840B が形成される。

【0059】

本例に示す CMOS トランジスタ 800 では、n チャネル MOS トランジスタ 840A はゲート長 L_{gA} をまた p チャネル MOS トランジスタ 840B はゲート長 L_{gB} を有し、前記ゲート電極 830A は、Si 基板 810 の平坦部を、前記突出部 810A のそれぞれの側において、ゲート幅 $W_{2A}/2$ で覆う。その結果、前記ゲート電極 830A の (100) 面上におけるゲート幅は、前記突出部 810A の頂部を含めて、 $W_{1A} + W_{2A}$ により与えられる。これに対し、前記ゲート電極 830A の (110) 面上におけるゲート幅は両側壁面に形成されているので $2H_A$ で与えられ、その結果、前記領域 A に形成される n チャネル MOS トランジスタ 840A の電流駆動能力は、式 $\mu_{n1}(W_{1A} + W_{2A}) + 2\mu_{n2}H_A$ により与えられる。ただし μ_{n1} は、(100) 面における電子移動度を、 μ_{n2} は (110) 面における電子移動度を表す。

同様に、前記領域 B に形成される p チャネル MOS トランジスタ 840B の電流駆動能力は、式 $\mu_{p1}(W_{1B} + W_{2B}) + 2\mu_{p2}H_B$ により与えられる。ただし μ_{p1} は、(100) 面におけるホール移動度を、 μ_{p2} は (110) 面におけるホール移動度を表す。

【0060】

このように、Si 基板の (100) 結晶面とゲート酸化膜の界面で低界面準位密度を実現できるので、1/f 雑音を低減でき、良好な電気的特性が安定して得られる。Si 基板 810 の主面とする (100) 面に加え、それとは異なる面方位の (110) 面に対してゲートを形成できるので、上記主面のゲート幅を小さくして素子面積を小さくし、主面のゲート幅を上記 (110) 面に対して形成したゲートのゲート幅で補填することができる。その結果、トランジスタ素子を小型化することが可能になる。

【0061】

なお、上述した例では側壁面へ形成するトランジスタを両側壁面に対して形成したが、片側壁面であってもよい。

また、上記 H_A を 0 とする構成にすることもできる。

また、同図においては、Si 基板 810 上方の n 型拡散領域 810a および 810b 間、或いは p 型拡散領域 810c 及び 810d 間に、ゲート絶縁膜 820A 或いは 820B に沿ってチャネルが夫々形成された際のその形成範囲を斜線で示すこととした。この図からも明らかなように、上述したゲート絶縁膜に沿って Si 基板中に形成されるチャネルのチャネル幅は、例えば n チャネル MOS トランジスタ 840A で言えば、(100) 面の上記 $W_{1A} + W_{2A}$ 及び (110) 面の上記 $2H_A$ の総和に追従し、例えば p チャネル MOS トランジスタ 840B で言えば、(100) 面の上記 $W_{1B} + W_{2B}$ 及び (110) 面の上記 $2H_B$ の総和に追従する。

【0062】

よって、 $W_{1A} + W_{2A} = W_{1B} + W_{2B}$ 、 $\mu_{n1}(W_{1A} + W_{2A}) + 2\mu_{n2}H_A = \mu_{p1}(W_{1B} + W_{2B}) + 2\mu_{p2}H_B$ を満たすように、 H_A 及び H_B を決めれば、n チャネル MOS トランジスタ及び p チャネル MOS トランジスタは互いの素子面積が一致し、かつ電流駆動能力が一致した CMOS トランジスタを構成できるようになる。

【0063】

同図に斜線で示されるようにチャネルが立体的に形成されることにより、一平面に形成されるチャネルにおけるピンチオフ点（チャネルキャリア密度が略 0 になる点）の移動に基づく実行ゲート長の減少が抑制され、飽和領域におけるドレイン電流の増加が抑制できる。

【0064】

その結果、MOS トランジスタによって増幅される信号における信号歪が低減される事となる。

ここでは CMOS トランジスタの構成例を示した。しかし、当然、相補型としない構成、すなわち n チャネル MOS トランジスタ 840A 或いは p チャネル MOS トランジスタ 840B のみを、上述したように (100) 面、(110) 面

を使用して立体的に構成することもできる。そして、当然、そのようにnチャネルMOSトランジスタ、或いはpチャネルMOSトランジスタのみにおいても、上述した作用効果が同様に得られる。

【0065】

このように、プラズマ処理装置100によりシリコン酸化膜が如何なる面方位に対しても一様に形成されることにより、 $1/f$ 雑音が低減され、複数の面方位にゲートを形成してトランジスタを立体構造にすることにより、チャネル長変調効果が低減され、素子間にバラツキのない良好な電気的特性を得る事が可能となる。また、上記立体構造としたことにより素子面積を小さくできる。

【0066】

さらに、立体構造をなすCMOSトランジスタでは、バランスの良い電気的特性を有しながら、その素子面積を大幅に小型化できるようになる。

次に、上記ゲート絶縁膜薄膜形成方法を用いて形成した上記立体構造のMOSトランジスタの、pチャネルMOSトランジスタ及びnチャネルMOSトランジスタからなるCMOSトランジスタを適用した低雑音増幅器の回路構成を示す。

【0067】

図10は、上記CMOSトランジスタを適用して構成した低雑音増幅器の一回路図である。

同図に示されるように、当該低雑音増幅器の回路1000は、pチャネルMOSトランジスタM1とnチャネルMOSトランジスタM2を組み合わせたCMOSトランジスタ1002と、コンデンサC1とnチャネルMOSトランジスタM3とオペアンプOP1とを組み合わせた動作点決定回路1004とからなる。

【0068】

先ず、上記CMOSトランジスタ1002においては、pチャネルMOSトランジスタM1のゲートとnチャネルMOSトランジスタM2のゲートに対して共通の入力電圧（例えばアンテナで受信した搬送波に基づいて変化する入力電圧など）を加える。そして、pチャネルMOSトランジスタM1とnチャネルMOSトランジスタM2を信号増幅器として機能させる。さらに、本回路においては高い電圧利得を得るためにpチャネルMOSトランジスタM1のドレインに電圧源

VDDを加える。そして、pチャネルMOSトランジスタM1のソースとnチャネルMOSトランジスタM2のドレインに上記入力電圧の増幅電圧が出力される。

【0069】

一方、上記動作点決定回路1004は、pチャネルMOSトランジスタM1のバイアス電流とドレイン電圧が電源電圧VDDによって影響を受けやすいため、pチャネルMOSトランジスタM1のソースとnチャネルMOSトランジスタM2の間に挿入され、 g_m を抑制して熱雑音と $1/f$ 雑音とが低下するように、基準電圧(V_{ref})を基準に上記増幅電圧を制御し、その動作点を決定する。なお、C1は熱雑音を減らすために挿入されている。

【0070】

本回路に示されるCMOSトランジスタ1002は、pチャネルMOSトランジスタM1及びnチャネルMOSトランジスタM2から発生する $1/f$ 雑音が大幅に低減される。また、互いのMOSトランジスタ(M1及びM2)の素子面積を同一にしても互いにバラツキのない同一の電気的特性を得ることができる。さらに、pチャネルMOSトランジスタ及びnチャネルMOSトランジスタの互いの寄生容量を一致させることができ、ゲート-ソース間電圧に対する互いのドレイン電流の立上がり特性と立下り特性のずれを大幅に緩和することができる。

【0071】

よって、上記回路においては $1/f$ 雑音は勿論のことそのトランジスタ素子の電気的特性のバラツキによって生じる信号歪の影響が大幅に改善され、従来以上に低雑音で高利得な低雑音増幅器を構成できる。

そのため、低雑音増幅器において発生する $1/f$ 雑音や信号歪を低減させるための回路を新たに設ける必要がなくなり、低雑音増幅器を小型化できる。

【0072】

また、ダイレクトコンバージョン受信方式(このダイレクトコンバージョン受信方式の回路構成は、図11を用いて従来技術で説明しているため、この説明はここでは省略する)に本発明の実施の形態の低雑音増幅器の構成を適用すれば、上記ダイレクトコンバージョン受信方式において先ず始めに利得を有する低周波

雑音増幅器において $1/f$ 雑音が低減できるので、その後段において復調される信号の S/N 比は向上し、ダイレクトコンバージョン受信方式によって復調する信号の品質を高くすることが可能になる。また、本発明の実施の形態の低雑音増幅器を適用すれば、その後段の回路において、 $1/f$ 雑音や信号歪を低減させるための回路を新たに設ける必要がなくなり、ダイレクトコンバージョン受信機を小型化できる。

【0073】

さらに、上記立体構造の CMOS トランジスタを適用することにより、小型化、低消費電力、かつ高性能な低雑音増幅器或いはダイレクトコンバージョン受信器を構成できる。

また、本発明の実施の形態における低雑音増幅器をスーパーヘテロダイン方式の受信機に適用することも可能である。スーパーヘテロダイン方式では、雑音の影響を抑えるために例えば 80 dB などに一旦上げた利得を IF 段で例えば 60 dB に下げ、その後段でバイポーラ等を用いて再度 80 dB に上げるなどの方式をとる。しかし、本発明の実施の形態の低雑音増幅器を適用することにより、雑音の影響を低減させることができるため、IF 段における利得の低下を改善し S/N 比を向上させることが可能になる。

【0074】

なお、本発明の実施の形態においては、ゲート絶縁膜の形成方法として、低雑音増幅器のノイズ低減に最も好適に作用する公知のゲート絶縁膜薄膜形成技術を適用して説明してきたが、このゲート絶縁膜薄膜形成技術に限らず、低雑音増幅器の用途先によって適宜、その他のゲート絶縁膜形成方法を適用してもよい。

【0075】

【発明の効果】

以上述べたように、本発明によれば、低雑音増幅器における $1/f$ 雑音の発生及びトランジスタ素子毎の電気的特性のバラツキを大幅に改善することが可能になる。

【0076】

よって、低雑音増幅器によって出力信号に与えられる $1/f$ 雑音や信号歪が大

幅に低減され、それらの低減を補償する回路が不要になり、小型化が可能になる。

さらに、nチャネルMOSトランジスタ及びpチャネルMOSトランジスタの電流駆動能力を一致させたCMOSトランジスタを有する低雑音増幅器を構成することにより、出力信号における信号歪を大幅に低減し、小型化、低消費電力、かつ高性能な低雑音増幅器を実現することが可能になる。

【0077】

また、本発明の低雑音増幅器が含まれるダイレクトコンバージョン受信機は小型化され、さらに、S/N比が向上して復調信号の品質が高まる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

ラジアルラインスロットアンテナを用いたプラズマ処理装置100の一例を示す断面図である。

【図2】

シリコン基板103表面におけるシリコン-水素結合を赤外分光器により分析した結果である。

【図3】

処理室内のKr/O₂の圧力比を97/3に保持しつつ、前記処理室101内のガス圧力を変化させた場合の、形成される酸化膜の厚さと処理室内圧力との関係である。

【図4】

Kr/O₂プラズマ酸化膜の成長レートと熱酸化膜の成長レートとの比較図である。

【図5】

Kr/O₂プラズマ酸化膜と熱酸化膜との界面準位密度の比較図である。

【図6】

ドレイン電圧対規格化ドレイン電流特性である。

【図7】

nチャネルMOSトランジスタの構成例である。

【図 8】

CMOS トランジスタの構成例である。

【図 9】

図 8 の一部を取り出して示した図である。

【図 10】

CMOS 構造を用いた低雑音増幅器の回路例である。

【図 11】

一般的なダイレクトコンバージョン受信方式の回路ブロック図である。

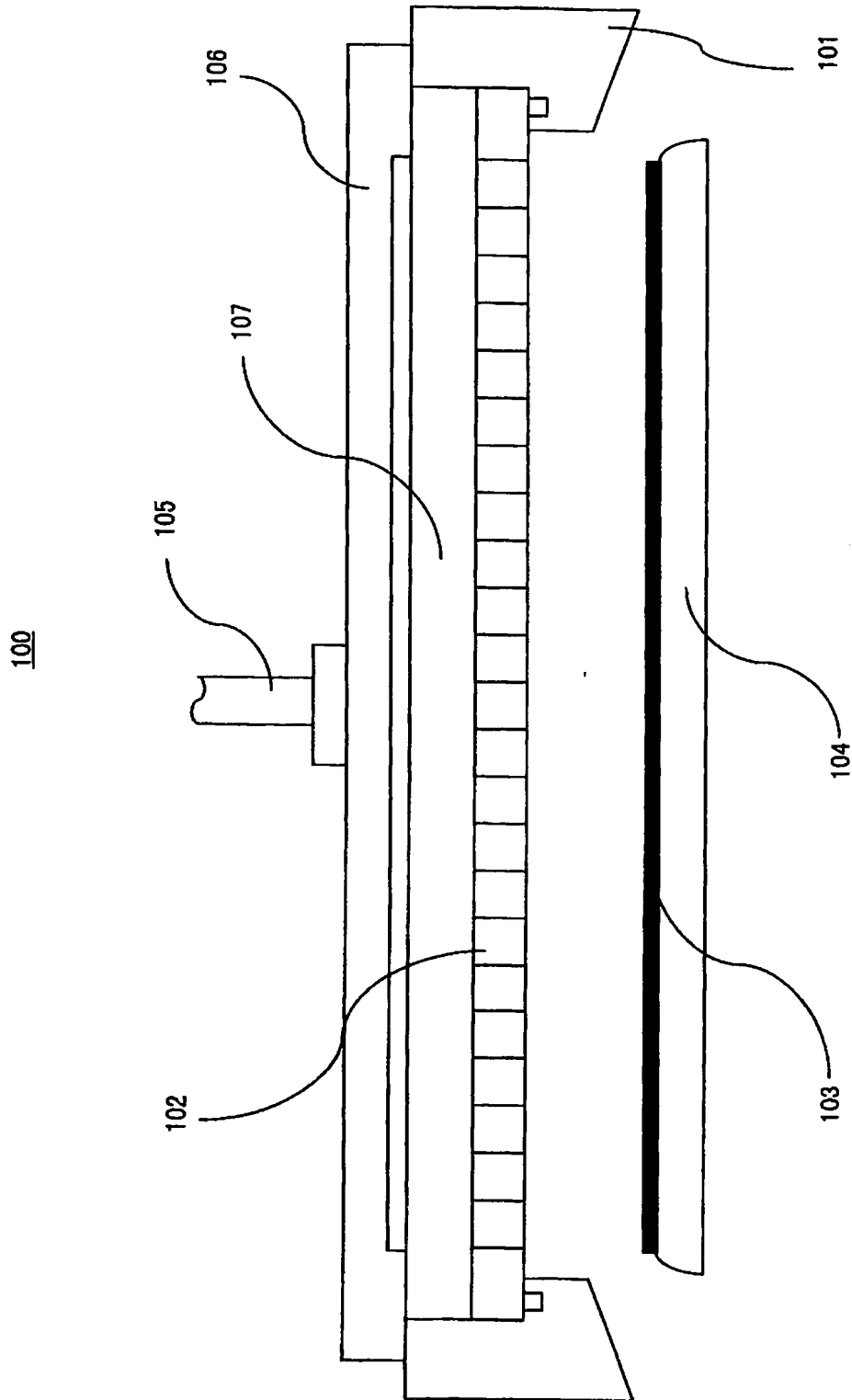
【符号の説明】

- 800 CMOS トランジスタ
- 805 素子分離領域
- 810 Si 基板
- 810A、810B 凸部
- 820A、820B ゲート絶縁膜
- 830A、830B ゲート電極
- 840A nチャネルMOS トランジスタ
- 840B pチャネルMOS トランジスタ
- 810a、810b n型拡散領域
- 810c、810d p型拡散領域

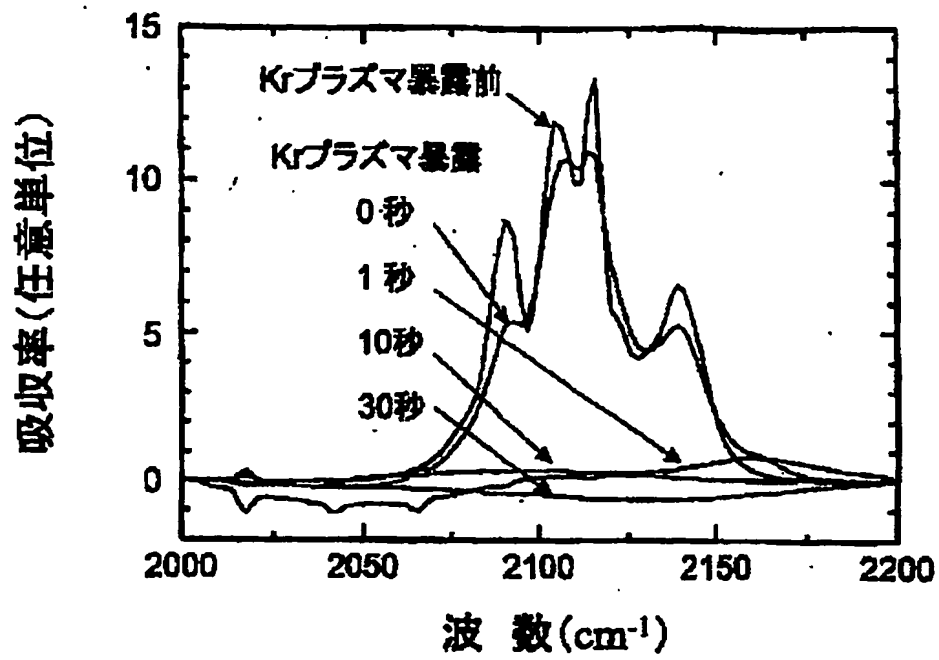
【書類名】

図面

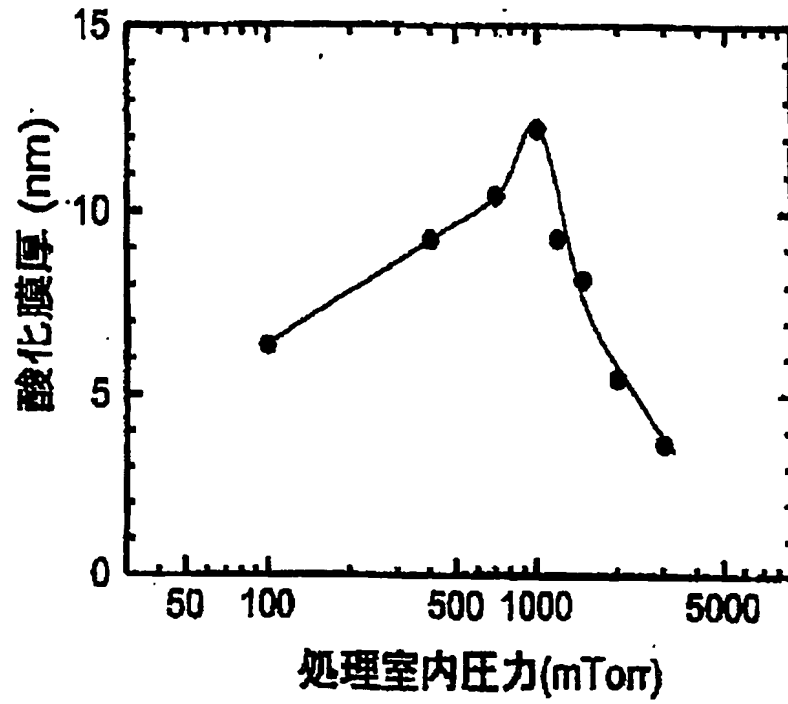
【図1】



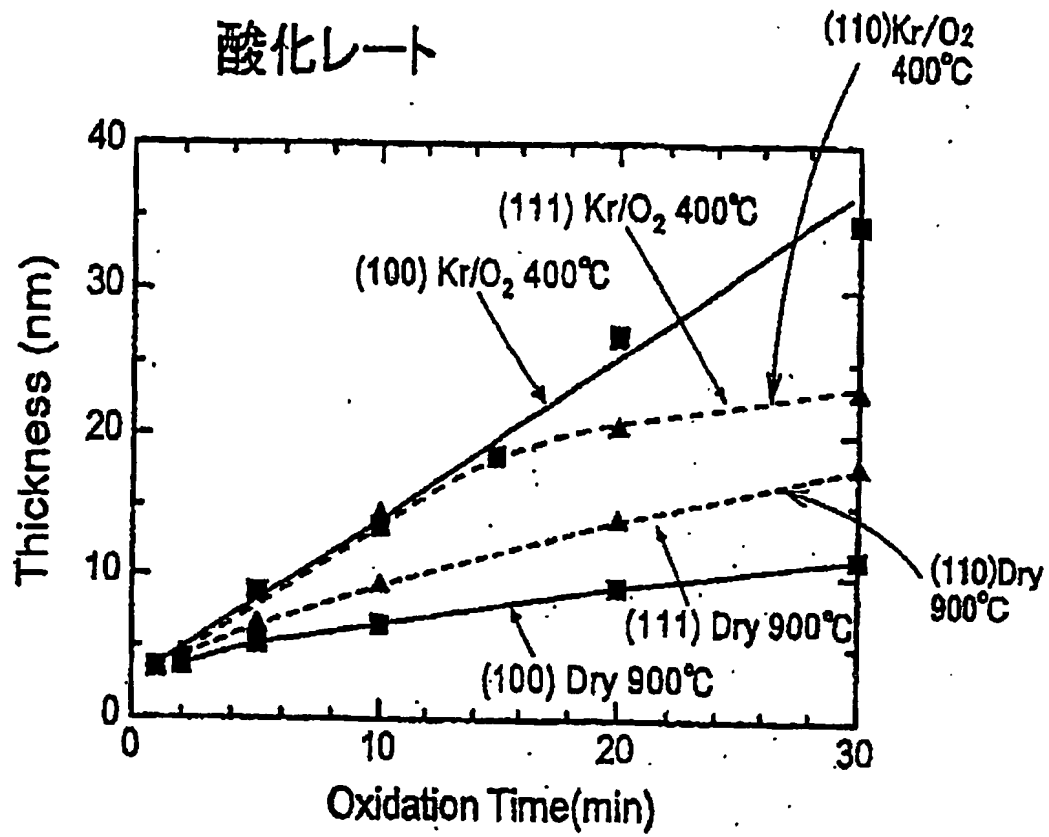
【図2】



【図 3】

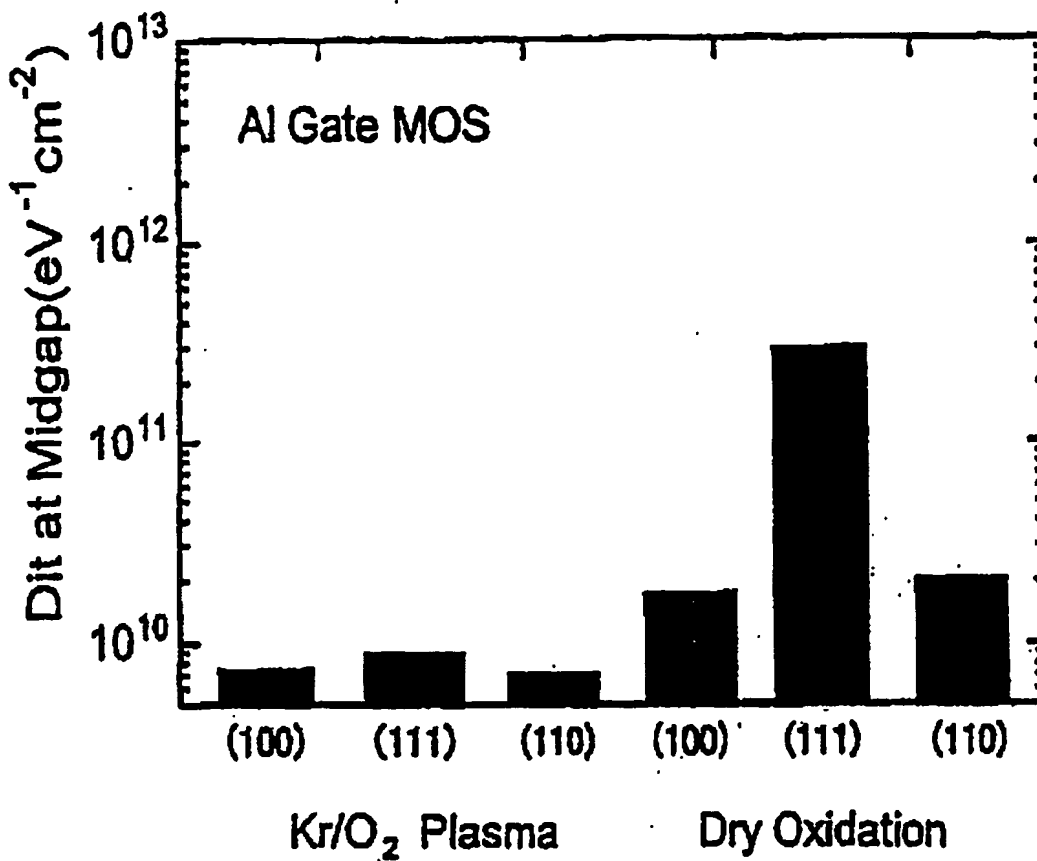


【図 4】

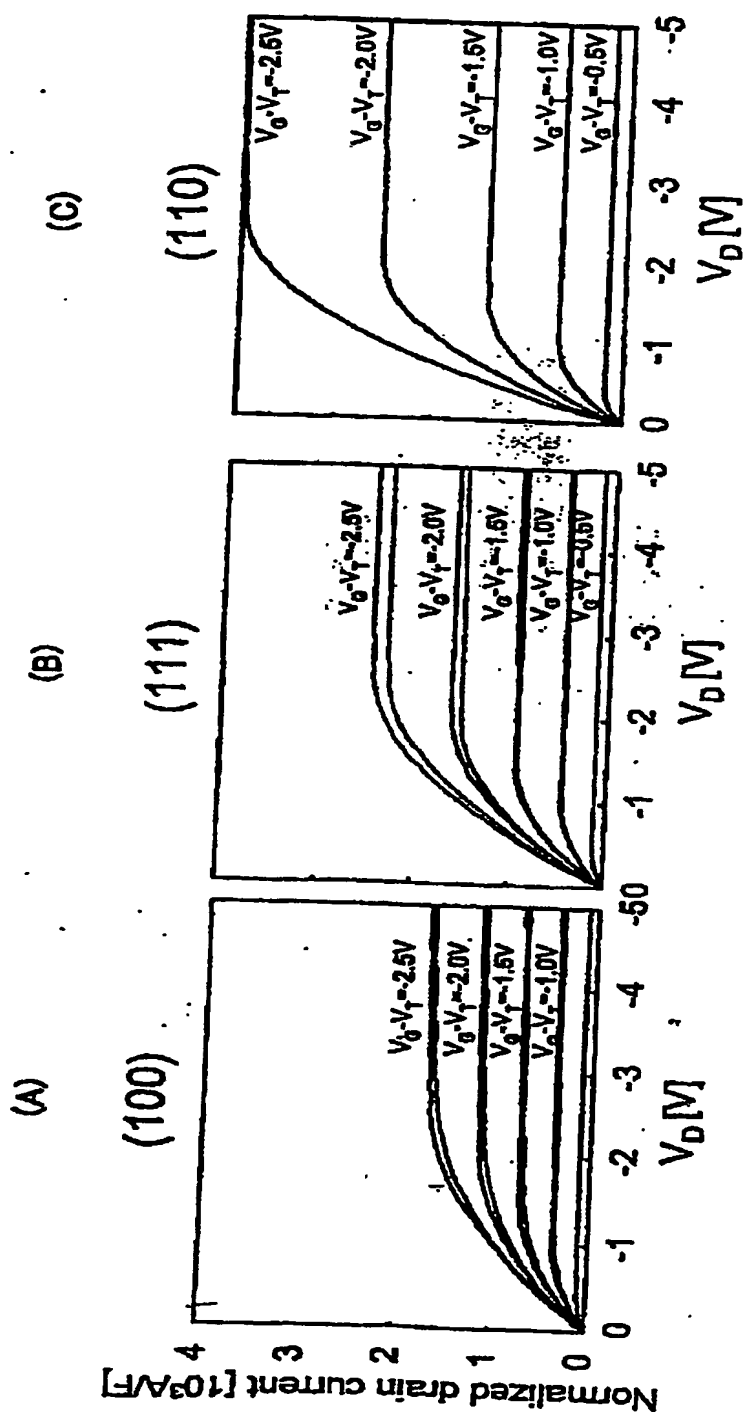


【図 5】

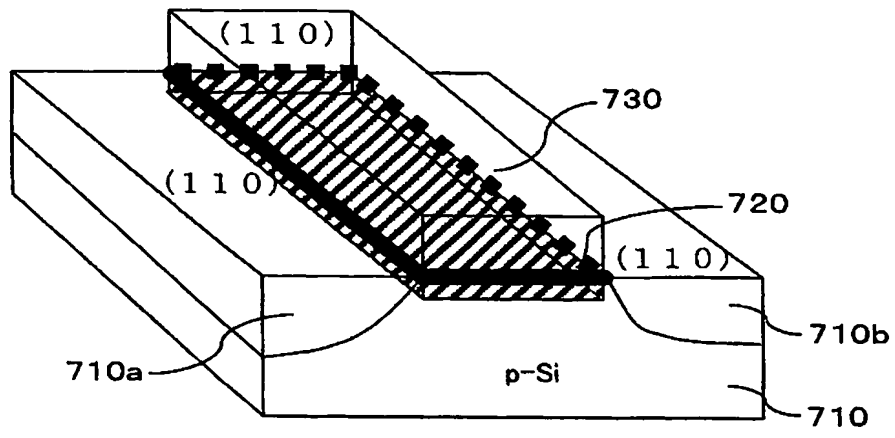
界面準位密度 (100) vs. (111)



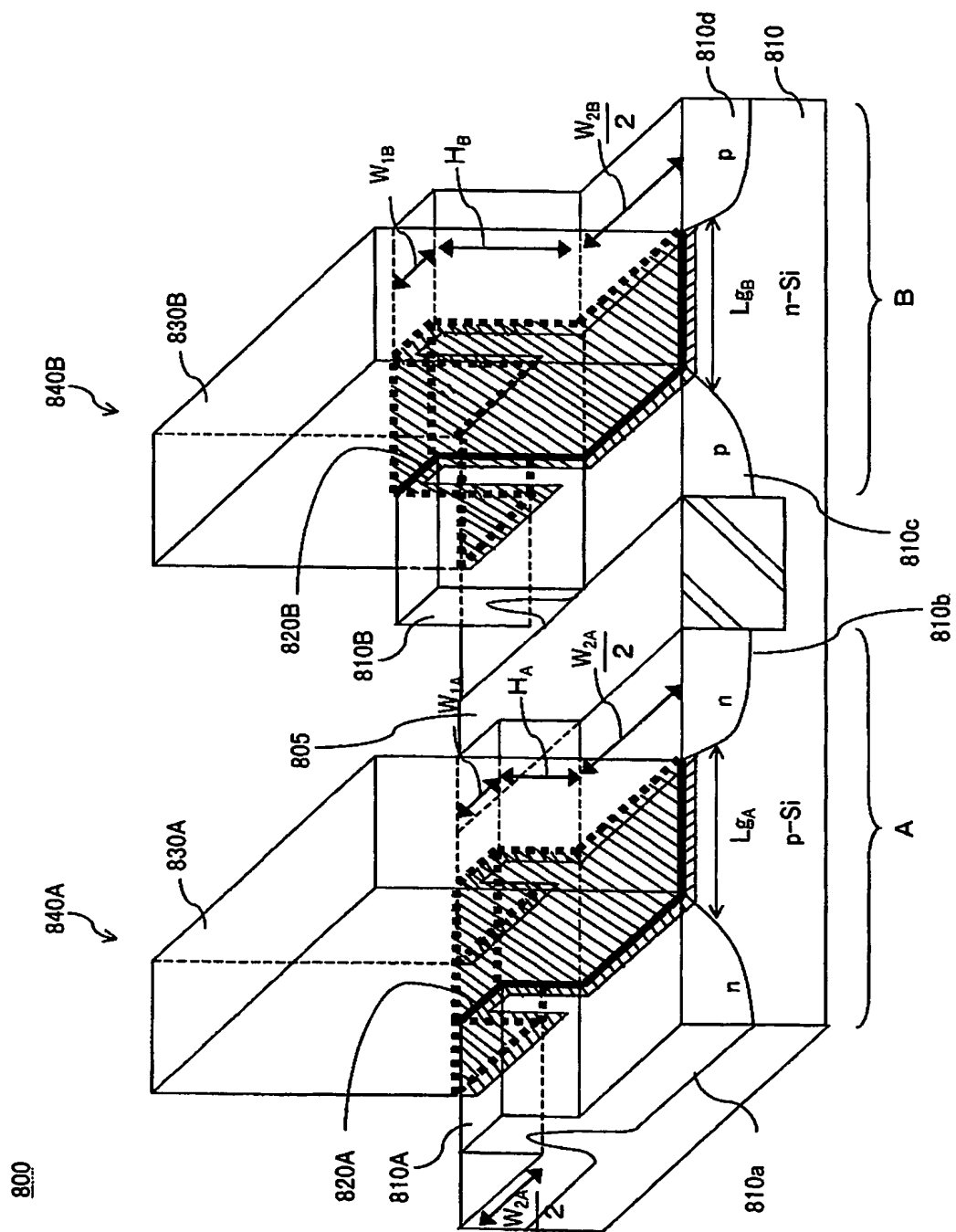
【図 6】



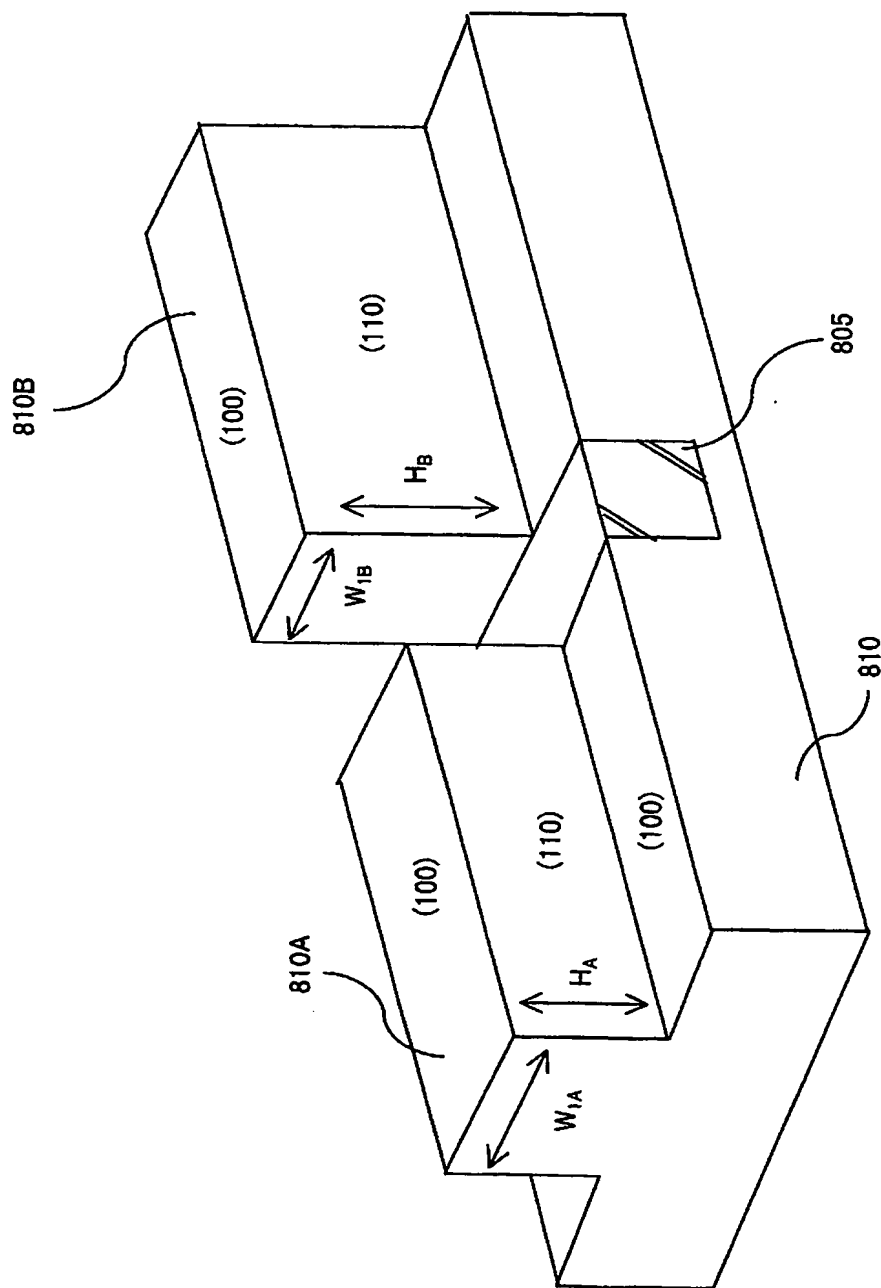
【図 7】



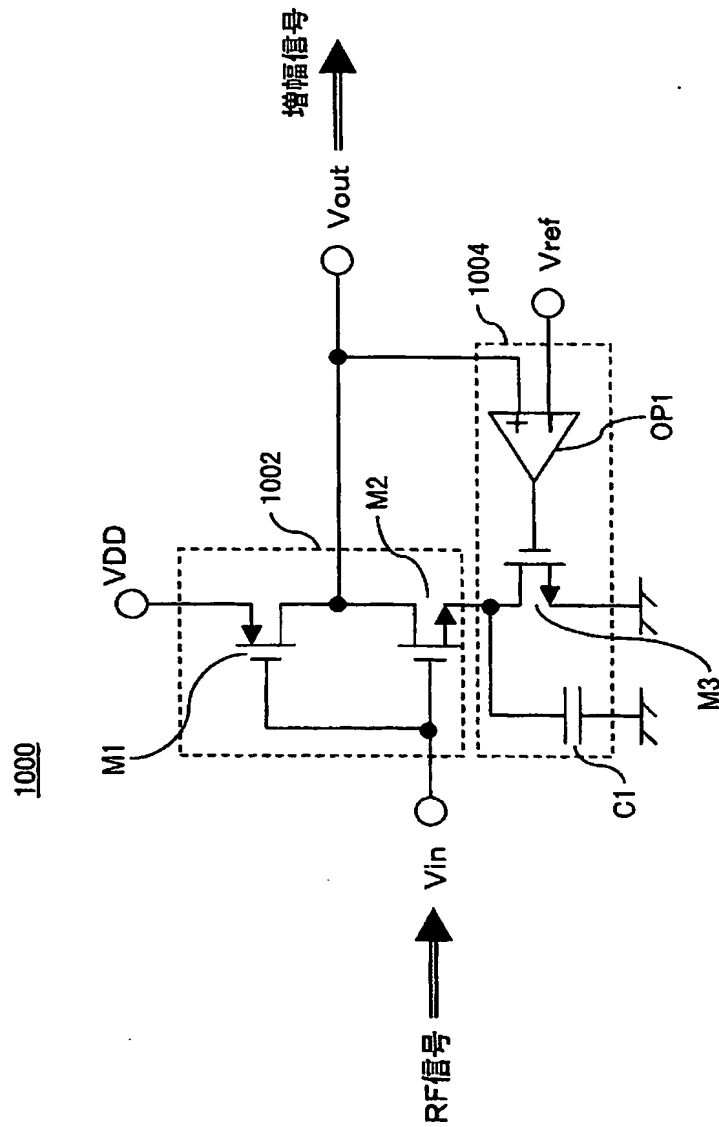
【図 8】



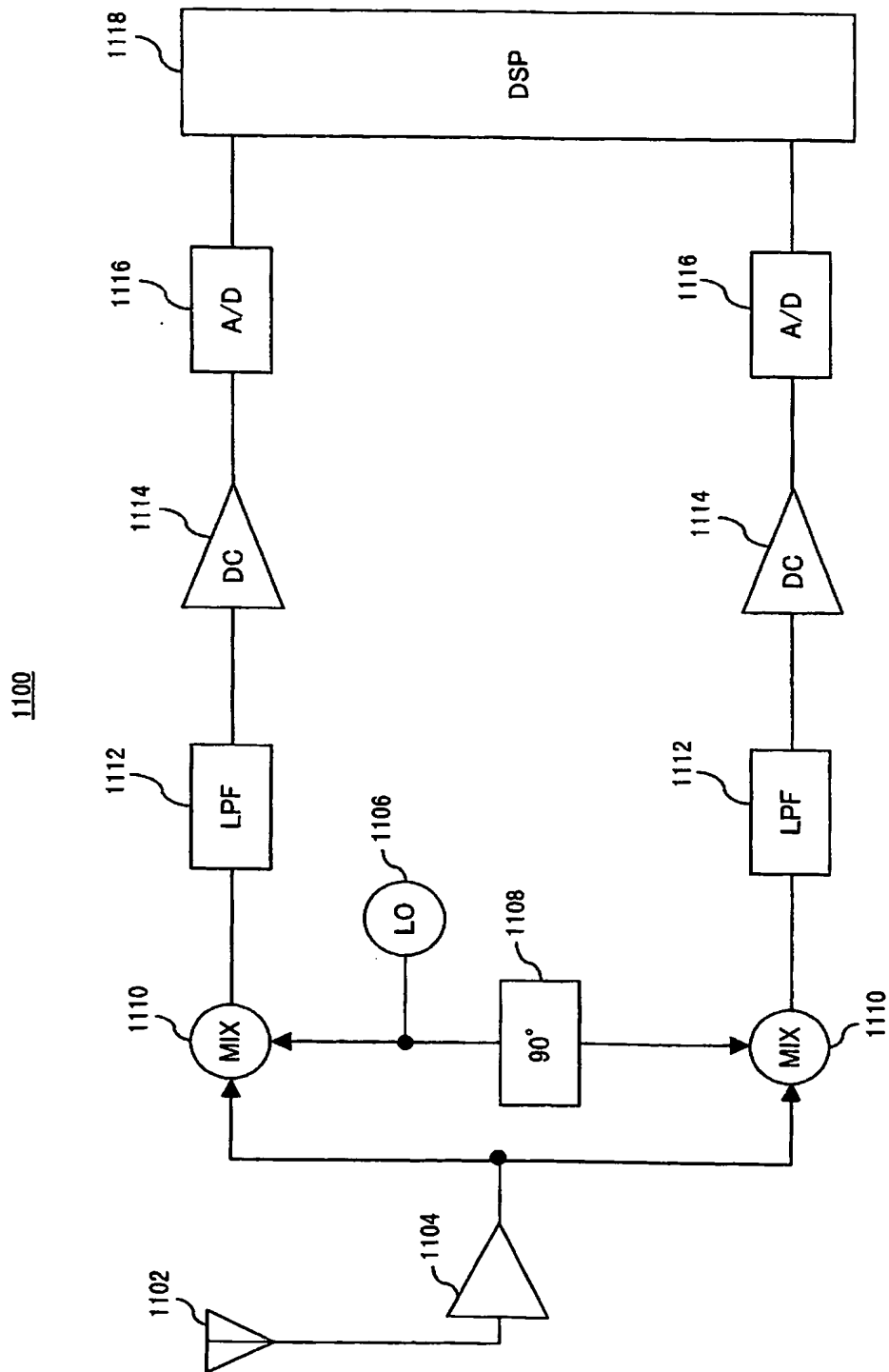
【図 9】



【図 10】



【図 11】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 本発明は、少ない部品数で雑音を抑えかつ高利得で信号増幅させることが可能な低雑音増幅器を提供することを目的とし、さらに、雑音を低化させると共に信号歪を低化させることが可能なCMOS構造の低雑音増幅器を提供することを目的とする。

【解決手段】 少なくとも二つの結晶面を有する半導体基板（810A、810）と、該半導体基板上であって前記結晶面の少なくとも二つに対して形成したゲート絶縁膜（820A）とを有し、前記ゲート絶縁膜に沿って前記半導体基板中に形成されるチャネルのチャネル幅が、前記少なくとも二つの結晶面に対して各々形成されるチャネルの各チャネル幅の総和で示される、pチャネルMOSトランジスタ（840A）及びnチャネルMOSトランジスタ（840B）を組み合わせたCMOSトランジスタ（800）を用いて、雑音を低レベルに抑えて入力信号を増幅する低雑音増幅器を構成する。

【選択図】 図8

特願 2003-170106

出願人履歴情報

識別番号

[000003218]

1. 変更年月日

2001年 8月 1日

[変更理由]

名称変更

住 所

愛知県刈谷市豊田町2丁目1番地

氏 名

株式会社豊田自動織機

特願 2003-170106

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[591220850]

1. 変更年月日

1996年 5月 9日

[変更理由]

住所変更

住 所

新潟県上越市西城町2丁目5番13号

氏 名

新潟精密株式会社

特願 2003-170106

出願人履歴情報

識別番号

[000205041]

1. 変更年月日

1990年 8月27日

[変更理由]

新規登録

住 所

宮城県仙台市青葉区米ヶ袋2-1-17-301

氏 名

大見 忠弘